

# SIMULATION METHOD OF MOLD SHRINKAGE PROCESS IN CRYSTALLINE RESIN MOLDING AND DEVICE THEREOF

Publication number: JP9262887

Publication date: 1997-10-07

Inventor: NARITA MASAO; HIRATSUKA MOTONORI

Applicant: TORAY INDUSTRIES

Classification:

- International: B29C33/38; B29C45/76; B29C33/38; B29C45/76;  
(IPC1-7): B29C45/76; B29C33/38

- European: B29C45/76R

Application number: JP19960075047 19960329

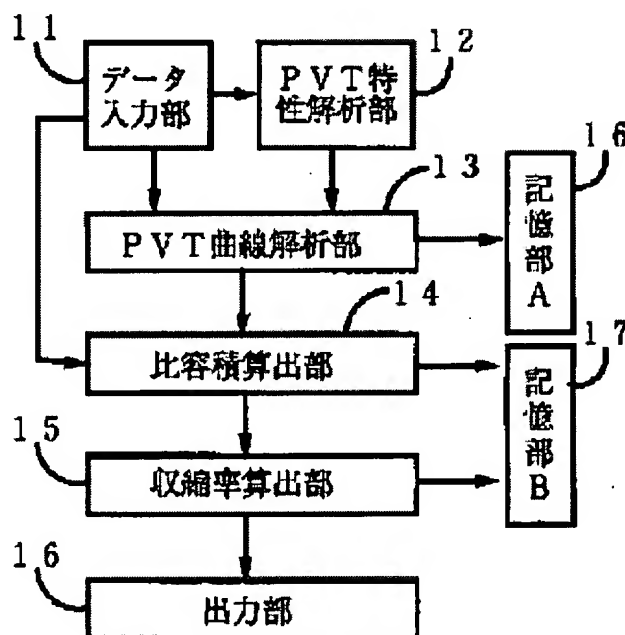
Priority number(s): JP19960075047 19960329

Report a data error here

## Abstract of JP9262887

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To estimate a shrinkage factor by a method wherein the PVT curve of resin in accordance with the crystallization behavior in molding and the specific volume of the resin are calculated.

**SOLUTION:** The outputs from an input part 11, in which various data necessary for analysis are fed to a PVC characteristic curve analysing part 12 for calculating the PVC characteristic curve of resin at any crystallinity, a PVC curve calculating part 13 for calculating the PVC curve of resin in accordance with the crystallization behavior at molding and a specific volume calculating part 14 of the resin. The output of the PVC curve calculating part 13 is fed to a storage part A16 and the specific volume calculating part 14. The output of the specific volume calculating part 14 is fed to a storage part, in which the analytical result is stored, and to a shrinkage factor calculating part 15 for calculating the shrinkage factors at molding. The output of the shrinkage factor calculating part 15 is fed to the storage part, in which the analytical result is stored.



(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-262887

(43) 公開日 平成9年(1997)10月7日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

B 2 9 C 45/76

33/38

識別記号

庁内整理番号

F I

B 2 9 C 45/76

33/38

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平8-75047

(22) 出願日 平成8年(1996)3月29日

(71) 出願人 000003159

東レ株式会社

東京都中央区日本橋室町2丁目2番1号

(72) 発明者 成田 賢生

愛知県名古屋市中区大津町9番地の1 東

レ株式会社名古屋事業場内

(72) 発明者 平塚 元紀

愛知県名古屋市中区大津町9番地の1 東

レ株式会社名古屋事業場内

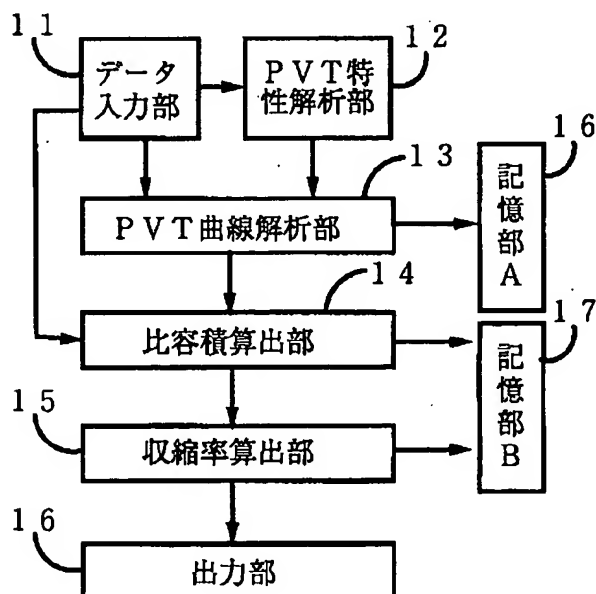
(54) 【発明の名称】 結晶性樹脂成形品における成形収縮過程シミュレーション方法およびその装置

(57) 【要約】

【課題】結晶性樹脂の成形過程における結晶化を考慮して比容積および収縮率の変化を予測する収縮過程シミュレーション方法およびその装置を提供する。

【解決手段】結晶性樹脂成形品における収縮過程シミュレーションにおいて少なくとも成形過程の樹脂温度、圧力、結晶化度のデータを入力するデータ入力部と任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求めるPVT特性解析部と、この両者から成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線と樹脂の比容積を算出するPVT曲線算出部と比容積算出部と、さらに収縮率を予測する収縮率算出部を備え、成形過程の比容積、収縮率の変化を算出する事の特徴とする構成とする。

図1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】成形過程の樹脂温度、圧力、結晶化度のデータと任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求め、成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線と樹脂の比容積を計算し、さらに収縮率を予測することを特徴とする結晶性樹脂成形品における成形収縮過程シミュレーション方法。

【請求項2】樹脂の非晶、過冷却液体、結晶の各状態における比容積の温度、圧力依存性を求め、さらに結晶と非晶、または結晶と過冷却液体の比容積と結晶化度から、任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法。

【請求項3】実際に測定された樹脂のPVT曲線から熱収縮のみを考慮した比容積を求め、また室温における結晶と非晶の比容積から、結晶化度と結晶収縮による比容積の変化の関係を求め、この両者から任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法。

【請求項4】少なくとも成形過程の樹脂温度、圧力、結晶化度のデータを入力するデータ入力部と任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求めるPVT特性解析部と、この両者から成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線と樹脂の比容積を算出するPVT曲線解析部、比容積算出部と、さらに収縮率を予測する収縮率算出部を備え、成形過程の比容積、収縮率の変化を算出する事を特徴とする結晶性樹脂成形品における収縮過程シミュレーション装置。

【請求項5】樹脂成形品製造を支援するための成形プロセスシミュレーションシステムにおいて、請求項1記載の成形収縮過程シミュレーション方法を組み込んでなる成形プロセスシミュレーションシステム。

【請求項6】請求項5記載の成形プロセスシミュレーションシステムを用いて、成形品のそり、ひけ、収縮を計算する事により、成形条件の設定を最適化する事を特徴とする樹脂成形品における成形条件の設定方法。

【請求項7】請求項1記載の成形収縮過程シミュレーション方法を用いて、成形品の収縮率を計算することにより、金型形状を最適化することを特徴とする金型の設計方法。

【請求項8】請求項5記載の成形プロセスシミュレーションシステムを用いて、成形品の収縮率を計算することにより、金型形状を最適化することを特徴とする金型の設計方法。

【請求項9】請求項7または8記載の金型の設計方法により設計された金型。

$$M = \alpha (T - T_0) + \beta \cdot f [(T - T_0) / t] \quad (1)$$

ただし、 $\alpha$ ：線膨張係数、 $\beta$ ：100%結晶収縮量、 $T$ ：取り出し温度、 $T_0$ ：外気温度、 $f$ ：関数、 $t$ ：時間であるが、 $f$ については取り出し温度から外気温度に至るまでの間の結晶化度の増分を求める関数を規定していることは明らかである。

【請求項10】請求項6記載の成形条件の設定方法を用いて設定した成形条件により樹脂または樹脂組成物を成形することを特徴とする成形品の製造方法。

【請求項11】請求項7または記載の金型を用いて成形することを特徴とする成形品の製造方法。

【請求項12】請求項11または12記載の製造方法により製造されてなる成形品。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は結晶性樹脂成形品の成形過程シミュレーション方法およびその装置に係り、より詳細には成形品のそり、ひけ、収縮の解析に不可欠な結晶化による収縮を含めた成形収縮量を予測することの出来る収縮過程シミュレーション方法およびその装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、従来考慮されていなかった金型内における樹脂の変形挙動、変形開始後の金型内の温度挙動を解析することにより、実際の成形現象により近い形状不良の予測を可能にした成形プロセス過程シミュレーションシステムが開発されている。

【0003】例えば特公平6-22840号公報に示される射出成形過程シミュレーションシステムでは成形過程における樹脂温度変化を算出し、冷却に伴う樹脂温度の低下によって成形材料の溶融相のつながりが断たれる時点を算出し、その時点以降、冷却に伴う変形を樹脂のPVTデータより算出された樹脂固有の線膨張率を用いて計算を行う。

【0004】しかしこの方法では結晶性樹脂における結晶収縮を全く考慮しておらず、従って結晶性樹脂の成形に関する収縮率の計算結果は、実際の収縮率に比べて小さく見積もられるといった問題があった。

【0005】また特開平4-282746では成形品の外観不良評価を行う方法が提案されている。この方法では射出成形品の充填解析、保圧流動解析、樹脂冷却解析を順次行って、射出成形過程中的成形材料の温度変化、圧力、比容積変化を計算し、この計算結果に基づいて成形品の型内離型時若しくは取り出し時の温度分布を算出し、この算出した分布温度から外気温度になるまでの熱収縮分および結晶化領域における結晶化速度を考慮した結晶収縮分を累積して収縮量評価指標値Mを次式により求めている。

## 【0006】

## 【数1】

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしこの方法ではメラの発生を予測することは出来ても成形時の比容積、収縮率の変化を定量的に計算することは出来ず、また取り出し温度から外気温度に至るまでの結晶化度の増分を正

確に計算する関数を規定出来ないという問題があった。

【0008】本発明はかかる実状に鑑みてなされたもので、その目的は結晶性樹脂において成形過程における比容積、収縮率を定量的に予測する収縮過程シミュレーション方法およびその装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】すなわち本発明は成形過程の樹脂温度、圧力、結晶化度のデータと任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法を用いて、成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線と樹脂の比容積を計算し、さらに収縮率を予測することとを特徴とする結晶性樹脂成形品における成形収縮過程シミュレーション方法、樹脂の非晶、過冷却液体、結晶の各状態における比容積の温度、圧力依存性を求め、さらに結晶と非晶、または結晶と過冷却液体の比容積と結晶化度から、任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法、実際に測定された樹脂のPVT曲線から熱収縮のみを考慮した比容積を求め、また室温における結晶と非晶の比容積から、結晶化度と結晶収縮による比容積の変化の関係を求め、この両者から任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法、少なくとも成形過程の樹脂温度、圧力、結晶化度のデータを入力するデータ入力部と任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求めるPVT特性解析部と、この両者から成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線と樹脂の比容積を算出するPVT曲線解析部、比容積算出部と、さらに収縮率を予測する収縮率算出部を備え、成形過程の比容積、収縮率の変化を算出する事を特徴とする結晶性樹脂成形品における収縮過程シミュレーション装置、製造を支援するための成形プロセスシミュレーションシステムにおいて、上記成形収縮過程シミュレーション方法を組み込んで、樹脂成形品の設計、成形品のそり、ひけ、収縮を計算する事を特徴とする成形プロセスシミュレーションシステム、上記成形プロセスシミュレーションシステムを用いて、成形品のそり、ひけ、収縮を計算する事により、成形条件の設定を最適化する事を特徴とする樹脂成形品の成形条件の設定方法、上記成形収縮過程シミュレーション方法を用いて、成形品の収縮を計算することにより、金型形状を最適化することを特徴とする金型の設計方法、上記上記成形プロセスシミュレーションシステムを用いて、成形品の収縮を計算することにより、金型形状を最適化することを特徴とする金型の設計方法、上記金型の設計方法により設計された金型、該成形条件の設定方法を用いることにより設定した成形条件により樹脂または樹脂組成物を成形することを特徴とする成形品の製造方法、上記金型を用いて成形することを特徴とする成形品の製造方法および上記製造方法により製造されてな

$$V_g(T) = V_{g0} + E_g \cdot T = V_{c0} + \Delta V_g + E_c \cdot T \quad (2)$$

但し $V_g(T)$ ：温度Tにおける非晶の比容積、Tは0 Kからガラス転移温度までの温度(K)である。

る成形品である。

【0010】

【発明の実施の形態】本発明の成形収縮過程シミュレーション方法においては、成形過程の樹脂温度、圧力、結晶化度のデータと任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法を求める必要がある。なお、本発明においてPVT特性とは、圧力P、比容積V、そして温度Tの間に存在する物質固有の性質をいう。PVT曲線とはPVT特性にしたがって、圧力Pと温度Tの関数として比容積Vを求め、グラフの両軸に圧力Pと温度Tを選択した時に得られる比容積Vの変化を図示したときに得られる曲線をいう。

【0011】成形過程における樹脂温度、圧力、結晶化度を求める方法については特に限定されないが、例えば既存の成形プロセスシミュレーションシステムによる充填解析、保圧解析、冷却解析を順次行なうことにより算出することができる。

【0012】また任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法については、例えば下記の(A)または(B)の方法を用いる事が望ましい。

【0013】(A)樹脂の非晶、過冷却液体、結晶の各状態における比容積の温度、圧力依存性を求め、さらに結晶と非晶、または結晶と過冷却液体の比容積と結晶化度から任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法。

【0014】(B)実際に測定された樹脂のPVT曲線から熱収縮のみを考慮した比容積を求め、また室温における結晶と非晶の比容積から、結晶化度と結晶収縮による比容積の変化の関係を求め、この両者から任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法。

【0015】以下上記(A)および(B)の方法について詳述する。

【0016】まず、(A)の方法について説明する。

【0017】図2は大気圧における樹脂の非晶、過冷却液体、結晶の各状態における温度と比容積の関係を示した概念図である。ただし $V_{c0}$ ：0 Kにおける結晶の比容積( $\text{cm}^3/\text{g}$ )、 $V_{g0}$ ：0 Kにおける非晶の比容積、 $\Delta V_g$ ：ガラス転移温度 $T_g$ 以下の温度における結晶と非晶の比容積の差、 $\Delta V_m$ ：融点 $T_m$ における液体と結晶の比容積の差、 $E_l$ ：液体、過冷却液体の熱膨張率( $\text{cm}^3/\text{g} \cdot \text{K}$ )、 $E_g$ ：非晶の熱膨張率、 $E_c$ ：結晶の熱膨張率であり、またガラス転移温度以下における非晶の熱膨張率 $E_g$ と結晶の熱膨張率 $E_c$ は等しい。温度Tにおける非晶、過冷却液体、結晶の比容積は下式(2)(3)(4)により求められる。

【0018】

【数2】

【0019】

【数3】

$$V_l(T) = V_{c0} + E_l \cdot T = V_g(T_g) + E_l \cdot (T - T_g) \quad (3)$$

但し $V_l(T)$ ：温度 $T$ における非晶の比容積、 $T$ はガラス転移温度以上の温度である。

【0020】

$$【数4】 V_c(T) = V_{c0} + E_c \cdot T \quad (4)$$

但し $V_c(T)$ ：温度 $T$ における結晶の比容積、 $T$ は0 Kから融点までの温度である。また $\Delta V_g$ は下式(5)により求める事が出来る。

【0021】

$$【数5】 \Delta V_g = V_l(T_g) - V_c(T_g) \quad (5)$$

$$V(P, T) = V(0, T) [1 - C \cdot \ln(1 + P/B(T))] \quad (6)$$

ただし $P$ ：圧力、 $V(P, T)$ ：圧力 $P$ 、温度 $T$ における比容積、 $C$ ：定数、 $B(T)$ ：Taitの式の温度依存性を示す項である。

【0024】以上、式(2)(3)(4)(5)(6)によって、非晶、過冷却液体、結晶について圧力-比容積-温度の関係を求める事が出来る。

$$\begin{aligned} V_x(P, T) &= V_c(P, T) \cdot (1 - x(T)) + V_l(P, T) \cdot x(T) \\ &= [V_c(0, T) \cdot (1 - x(T)) + V_l(0, T) \cdot x(T)] \cdot [1 - C \cdot \ln(1 + P/B(T))] \end{aligned} \quad (7)$$

但し式(7)はガラス転移温度から融点までの温度に関するものであって、ガラス転移温度以下では過冷却液体の比容積 $V_l$ ではなく、非晶の比容積 $V_g$ を用いる。また式(7)から明らかなように、比容積の圧力依存性は先に大気圧下における結晶化度 $x(T)$ を計算した後に考慮しても良い。以上、式(2)(3)(4)(5)(6)(7)によって任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める事が出来る。

【0027】次に前記(B)の任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法について説明する。

【0028】前記(B)の方法によれば、任意の結晶化度における樹脂のPVT特性は、実際に測定された樹脂のPVT曲線から熱収縮のみによる比容積を求め、また室温における結晶と非晶の比容積から、結晶化度と結晶収縮による比容積の変化の関係を求め、この両者から求める。

【0029】図3はポリブチレンテレフタレート樹脂について等温条件で測定した圧力-比容積データを組み合わせて作製したPVT曲線を示したもので、図中に示された点 $V_c$ は大気圧、室温における結晶の比容積、 $V_l$ は非晶の比容積である。図3より温度 $T_a$ と $T_b$ の間で比容積が急激に変化する事が分かるが、これは結晶化による収縮が原因である。PVT測定のように定温で圧力を変化させて測定するか、または毎分 $1^\circ\text{C}$ 程度の昇温、冷却を行って測定を行うような条件では、結晶化は融点近傍の狭い温度範囲 $T_a$ と $T_b$ で生じ、 $T_b$ 以下の温度でそれ以上の結晶化が進むことはほとんどなく、従って $T_b$ 以下の温度領域では熱収縮のみ生じると考えて差し支えない。また熱収縮による比容積の変化は結晶化度

に従って少なくとも $E_l$ 、 $E_c$ 、 $V_{c0}$ が分かれば、非晶、過冷却液体、結晶について大気圧における温度と比容積の関係を式(2)(3)(4)により求める事が出来る。

【0022】また圧力と比容積の関係は、下記(6)式のTaitの式に従って計算を行うことで求める事が出来る。

【0023】

【数6】

$$【0025】$$

さらに成形時の結晶化度を $x$ とすると、樹脂温度 $T$ 、圧力 $P$ (MPa)、結晶化度 $x(T)$ における比容積 $V_x(P, T)$ は、次式によって計算する事が出来る。

【0026】

【数7】

依らず一定であると見なせる。結晶化による結晶収縮分は室温における非晶の比容積と実際に測定された大気圧、室温における比容積の差によって求められるので、結局、熱収縮のみを考慮した場合の樹脂の比容積は、実際に測定された樹脂のPVT曲線から $T_a$ 以上の温度では結晶化の影響を受けないので実際に測定されたPVT曲線をそのまま用い、 $T_b$ 以下の温度ではPVT曲線を結晶収縮分を相殺するために $V_l - V_c$ だけ上方へ平行移動して求める事が出来る。尚、 $T_b$ と $T_a$ の間の温度における比容積については、一般に成形時の冷却速度は非常に速く結晶化は $T_b$ よりも低い温度で生じるので特に求める必要はないが、 $T_b$ 以下の温度について $V_l - V_c$ だけ上方へ平行移動した比容積の各曲線を最小2乗近似などによって数式化し、これを $T_b$ と $T_a$ の温度で適用して用いて求めてもよい。

【0030】一方、結晶化度と結晶収縮による比容積の変化の関係については、室温における結晶の比容積( $V_c$ )と非晶の比容積( $V_l$ )から、結晶化度 $x(T)$ の時、結晶収縮による比容積の変化 $V_h(T)$ を下式(8)により求められる。

【0031】

【数8】

$$V_h(T) = (V_l - V_c) \cdot x(T) \quad (8)$$

ただし結晶収縮による比容積の変化 $V_h(T)$ は圧力の影響を受けないものとする。従って結晶化を考慮した樹脂のPVT特性は、温度 $T$ における結晶化度 $x(T)$ を式(8)に代入して、結晶収縮による比容積の変化 $V_h(T)$ を計算し、熱収縮のみを考慮した樹脂の比容積を、縦軸方向に $V_h(T)$ だけ下方に平行移動すること

により計算出来る。

【0032】上記(A)あるいは(B)の方法を用いることによって、任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求めることができるので、成形過程の樹脂温度と圧力、結晶化度のデータを用いて成形過程の結晶化度に従った樹脂のPVT曲線と樹脂の比容積を計算する事が出来る。なお、上記(A)および(B)の方法の内いずれを選択するかは任意である。

【0033】また成形プロセスシミュレーションなどによって成形時の樹脂温度Tと時間tの関係を求める事が出来るならば、樹脂の比容積の経時変化を求めることも出来る。

【0034】そして温度Tにおける体積収縮率を $S_v(T)$ 、線収縮率を $S_l(T)$ とすれば収縮率の変化は、次式によって予測する事が出来る。

【0035】

【数9】

$$S_v(T) = 1 - V(T) / V_s \quad (9)$$

$$S_l(T) = 1 - (V(T) / V_s)^{1/3}$$

ここで $V_s$ ：収縮開始時の比容積で、収縮開始温度 $T_s$ を規定することにより求められる。また成形時の樹脂温度Tと時間tの関係を求める事が出来るならば、収縮率の経時変化についても求められる。また収縮開始温度 $T_s$ については、好ましくはゲートが固化してキャビティ内に樹脂が流入しなくなる温度や、樹脂の各部が固化し、樹脂の流動が無くなる温度、圧力が大気圧に達する温度を $T_s$ とすると良い。

【0036】本発明においては上記成形収縮過程シミュレーション方法を樹脂成型品の設計、製造を支援するための成形プロセスシミュレーションシステムに組み込んで、成形品のそり、ひけ、収縮を計算することができる。かかる成形プロセスシミュレーションシステムに前記成形収縮過程プロセスシミュレーション方法を組み込む方法については特に限定されないが、従来の成形プロセスシミュレーションシステムに追加して組み込むこともできるが、成形品のそり、ひけ、収縮率を計算することができる成形プロセスシミュレーションシステムには、従来の方法による成形収縮プロセスシミュレーション方法が組み込まれているので、それと置き換えることが望ましい。

【0037】また、上記成形収縮過程シミュレーション方法を用いて、収縮率を予測し、その収縮率を勘案して金型を設計することにより所望の形状、寸法の成形品を成形し得る金型を設計することができ、それにより得られる金型を用いることにより所望の形状、寸法の成形品を得ることができる。この場合、単に上記成形収縮過程シミュレーション方法のみを用いるよりも下記成形プロセスシミュレーションシステムを用い、成形条件の最適化の一部として金型の設計を含める方がより正確に所望の形状、寸法の成形品を得ることができる。

【0038】また上記成形収縮過程シミュレーション方法を組み込んだ成形プロセスシミュレーションシステムを用いて、成形品のそり、ひけ、収縮を計算する事により、金型温度、射出温度、保圧などの成形条件の設定を最適化して樹脂成形品における成形条件を設定することができる。成形条件の最適化の方法については特に限定されないが従来から用いられているようにそり、ひけ、収縮率と樹脂温度、圧力、金型温度の関係をシミュレーションによって調べ、検討を重ねていくのが好ましい。

【0039】また、上記成形収縮過程シミュレーション方法を用いて、収縮率を予測し、その収縮率を勘案して金型を設計することにより所望の形状、寸法の成形品を成形し得る金型を設計することができ、それにより得られる金型を用いることにより所望の形状、寸法の成形品を得ることができる。この場合、単に前記成形収縮過程シミュレーション方法のみを用いるよりも上記成形プロセスシミュレーションシステムを用い、成形条件の最適化の一部として金型の設計を含める方がより正確に所望の形状、寸法を有する成形品を得ることができる。

【0040】また本発明の収縮過程シミュレーション装置は、少なくとも成形過程の樹脂温度、圧力、結晶化度のデータを入力するデータ入力部と任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求めるPVT特性解析部と、この両者から成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線と樹脂の比容積を算出するPVT曲線解析部、比容積算出部と、さらに収縮率を予測する収縮率算出部を備えるものである。

【0041】この装置ではデータ入力部で入力されたデータを用いてPVT特性解析部で任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求め、さらにPVT曲線解析部においてデータ入力部で入力されたデータとPVT特性解析部で求めたPVT特性の両者から成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線を求め、このPVT曲線を用いて比容積算出部で樹脂の比容積を算出する。

【0042】本発明の結晶性樹脂成形品における収縮過程シミュレーション装置は前記必要条件を満たす構成であれば、その装置構成を限定するものではないが、好ましくは単一の計算装置内に前記計算部を全て組み込んだ装置、または各部分は独立の計算装置により構成され、各装置間をデータの受け渡し装置により結ばれた構成とする事が望ましい。

【0043】

【実施例】以下に本発明の一実施例を図面を参照して説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

【0044】図1は、本発明の結晶性樹脂における収縮過程シミュレーション方法を適用した装置の電氣的構成(ブロックダイアグラム)を示している。

【0045】同図において、解析に必要な各種データの入力を行う入力部11の出力は任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求めるPVT特性解析部12と成形

時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線を求めるPVT曲線算出部13と樹脂の比容積を算出する比容積算出部14に導かれており、PVT特性解析部12の出力はPVT曲線算出部13に導かれており、PVT曲線算出部13の出力は解析結果を記憶する記憶部A17と比容積算出部14に導かれており、比容積算出部14の出力は、解析結果を記憶する記憶部B18と成形時の収縮率の変化を算出する収縮率算出部15に導かれ、収縮率算出部15の出力は、解析結果を記憶する記憶部B18に導かれ、さらに結果を例えば図形表示する出力部16に導かれた構成となっている。なお、記憶部A17および記憶部B18は必ずしも必要なものではないが、解析結果をデータとして記憶しておくことにより、シミュレーションの精度の検証などに利用することができる。記憶部の記憶媒体としても、フロッピーディスク、コンパクトディスクなど特に限定されない。

【0046】入力部11では、成形時の樹脂温度、圧力、結晶化度の変化、実際に測定された樹脂のPVT曲線を数値化したデータ等、解析に必要な各種データの入力を行う。

【0047】図4はポリブチレンテレフタレート樹脂ペレット（相対粘度1.45）について縦80mm×横80mm×厚さ3mmの角板状の形状を持つ成形品の成形時の樹脂温度、圧力、結晶化度の関係を射出成形過程シミュレーション装置（東レ（株）製“TIMON”）とAvramiの式に基づいた結晶化シミュレーションを行って求めたもので、これをデータ化して入力部11に入力し、また実際に測定したPVT曲線についても、これを数値化して入力部11に入力する。これは樹脂成形

$$B(T) = B_0 \cdot \exp(-B_1 \cdot (T - 273.14)) \quad (11)$$

ただし $B_0$ 、 $B_1$ ：定数である。

【0051】PVT曲線解析部13では成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線を計算する。図6は、第2発明の方法を用い、図4に示される樹脂温度と結晶化度の入力データに基づいて計算された樹脂のPVT曲線を示しており、図7は、第3発明の方法と図4に示される樹脂温度と結晶化度の入力データに基づいて計算された樹脂のPVT特性を示している。

【0052】比容積算出部14では、入力部11で入力された樹脂温度、圧力、結晶化度のデータとPVT曲線解析部13で求められた成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線から成形時の樹脂の比容積を計算する。図8は図4に示された樹脂温度、圧力、結晶化度のデータと図6に示されるように第2発明の方法によって計算された樹脂のPVT特性を用いて、成形時の比容積の変化を計算した結果で、図には圧力、結晶化度と比容積の関係を明示するため、図6に示した樹脂のPVT特性を点線で併記してある。

【0053】収縮率算出部15では、比容積算出部14で求められた結果を用いて、成形時の収縮率の変化を算

品の設計、製造を支援するための成形プロセスシミュレーションシステムに、前記請求項1記載の成形収縮過程シミュレーション方法を組み込んで、成形品のそり、ひけ、収縮率を計算する事に等しい。

【0048】PVT特性解析部12では任意の結晶化度における樹脂のPVT特性の計算を行う。図5は第2発明の方法によって計算されたポリブチレンテレフタレート樹脂の過冷却液体、液体、結晶におけるPVT特性を示したもので、計算に必要な $E_l$ 、 $E_c$ 、 $V_c$ は樹脂のVan der Waals体積 $V_w$  ( $V_w = 114.6 \text{ (cm}^3/\text{mol)}$ )を用いて次式により計算したが、これは $E_l$ 、 $E_c$ 、 $V_c(0)$ について求める方法を限定するものではない。

【0049】

【数10】

$$E_l = 0.001 \cdot V_w / M_w$$

$$E_c = 0.00045 \cdot V_w / M_w \quad (10)$$

$$V_c(0) = 1.3 \cdot V_w / M_w - D$$

ここで $M_w$ ：分子量 ( $M = 220 \text{ (g/mol)}$ )、 $D$ ：補正項であって、 $D = 0.041$ を用いたが、これは室温における結晶、非晶の比容積などから値を求める事が出来る。またTaitの式による圧力依存性を計算するために必要な定数 $C$ と温度依存性を示す関数 $B$

( $T$ )について定数 $C$ はさまざまな樹脂について求められた平均値 $C = 0.00894$ を用い、 $B(T)$ は次式の関数を用いて算出した。

【0050】

【数11】

出する。図9は成形時の線収縮率の変化を示したもので、図中に示された $S_e$ は実際に成形品の成形収縮率（線収縮率）を測定した結果で、本発明を用いた計算結果と実際に測定された結果はかなり一致している。

【0054】

【発明の効果】

(1) 本発明に係わる結晶性樹脂成形品における収縮過程シミュレーション方法およびその装置は、成形過程の樹脂温度、圧力、結晶化度のデータと任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法を用いて、成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線と樹脂の比容積を計算し、さらに収縮率を予測するように構成したので、成形時の結晶化度に合った収縮率を計算する事ができ、さらに従来の方法に比べて適切な収縮量の計算を行う事が出来る。

【0055】(2) 樹脂の非晶、過冷却液体、結晶の各状態における比容積の温度、圧力依存性を求め、さらに結晶と非晶、または結晶と過冷却液体の比容積と結晶化度から任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法により、実際に樹脂のPVT曲線を測定する労力



を削減でき、さらに種々の樹脂について様々な結晶化挙動を有する時の樹脂のPVT特性を求める事が出来る。

【0056】(3) 実際に測定された樹脂のPVT曲線から熱収縮のみを考慮した比容積を求め、また室温における結晶と非晶の比容積から、結晶化度と結晶収縮による比容積の変化の関係を求め、この両者から任意の結晶化度における樹脂のPVT特性を求める方法により、実際のPVT曲線から簡単に任意の結晶化度におけるPVT曲線を求める事ができ、かつ様々な結晶化挙動を有する場合の樹脂のPVT特性を求める事が出来る。

【0057】(4) 本発明の成形プロセスシミュレーションシステムによれば、樹脂成形品の設計、製造を支援するための成形プロセスシミュレーションシステムにおいて、上記成形収縮過程シミュレーション方法を組み込んで、成形品のそり、ひけ、収縮率を計算することにより、成形過程における樹脂のPVT曲線を得るといった新規の機能を成形プロセスシミュレーションシステムに付加する事が出来、さらに収縮率の計算結果を成形品のひけ、そり等、成形品の収縮に関係した変形の解析に用いることによって、解析の精度の向上を行う事が出来るといった種々の効果を奏する。

【0058】(5) 本発明の成形条件の設定方法によれば、前記成形収縮過程シミュレーション方法を組み込んだ、樹脂成形品の設計、製造を支援するための成形プロセスシミュレーションシステムを用いて、成形品のそり、ひけ、収縮率を計算する事により、金型温度、射出温度、保圧などの成形条件の設定を最適化するため、収縮量によって成形品の品質基準が設定されるような場合には、本発明を用いて適切な成形条件を設定する事が出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の結晶性樹脂における収縮過程シミュレ

ーション方法を適用した収縮過程シミュレーション装置の電氣的構成を示すブロック図である。

【図2】図2は大気圧下における樹脂の温度と比容積の関係を示した概念図である。

【図3】図3はポリブチレンテレフタレート(PBT)のPVT測定結果である。

【図4】図4はポリブチレンテレフタレート樹脂成形品の成形時の樹脂温度、圧力、結晶化度の関係を示している。

【図5】図5は第2発明の方法によって計算されたポリブチレンテレフタレート樹脂の過冷却液体、液体、結晶におけるPVT特性を示したものである。

【図6】図6は第2発明の方法を用いて、成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線を計算した結果を示したものである。

【図7】図7は第3発明の方法を用いて、成形時の結晶化挙動に従った樹脂のPVT曲線を計算した結果を示したものである。

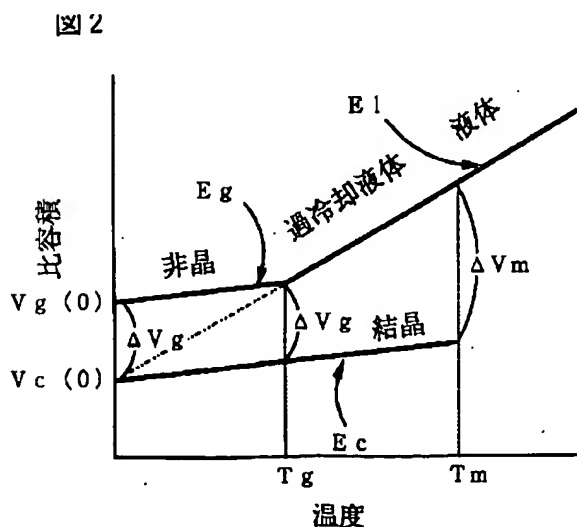
【図8】図8は第2発明の方法によって計算された樹脂のPVT曲線を用いて、成形時の比容積の変化を計算した結果を示したものである。

【図9】図9は成形時の線収縮率の変化を示したものである。

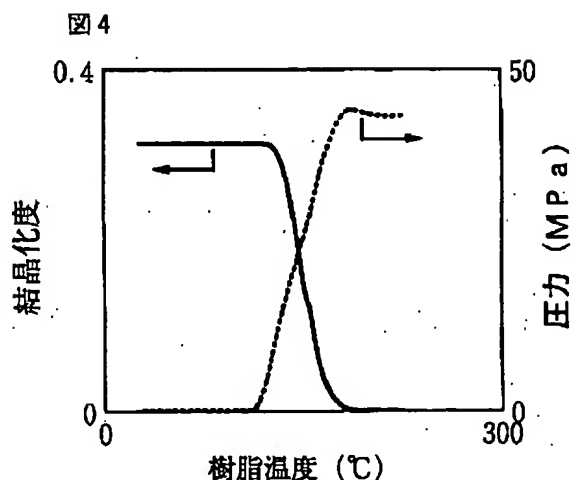
【符号の説明】

- 11. データ入力部
- 12. PVT特性解析部
- 13. PVT曲線算出部
- 14. 比容積算出部
- 15. 収縮率算出部
- 16. 出力部
- 17. 記憶部A
- 18. 記憶部B

【図2】

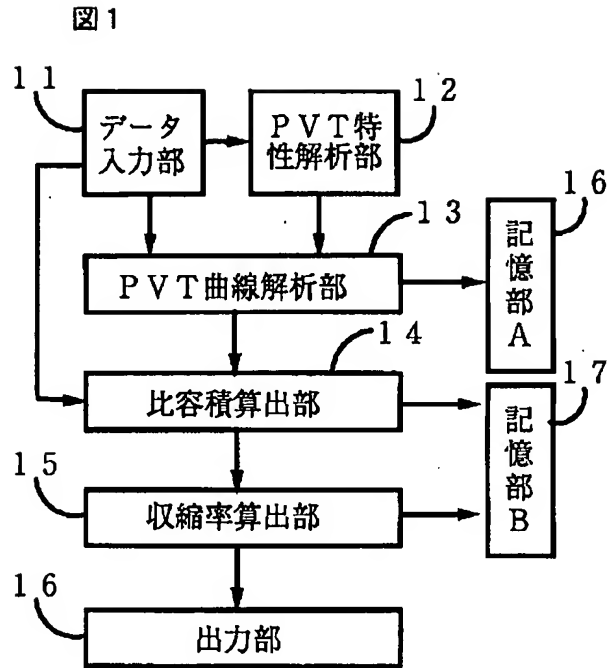


【図4】

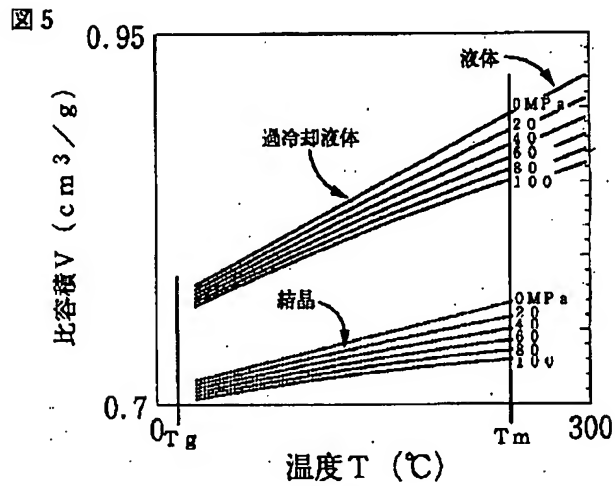




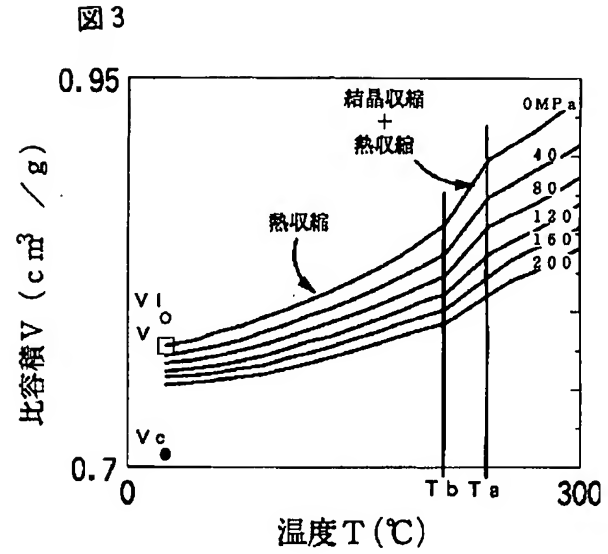
【図1】



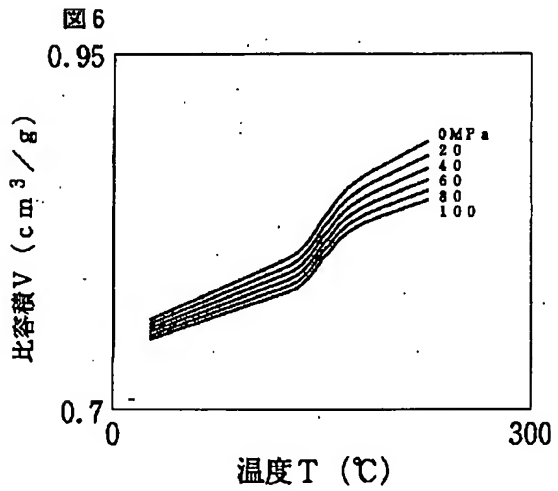
【図5】



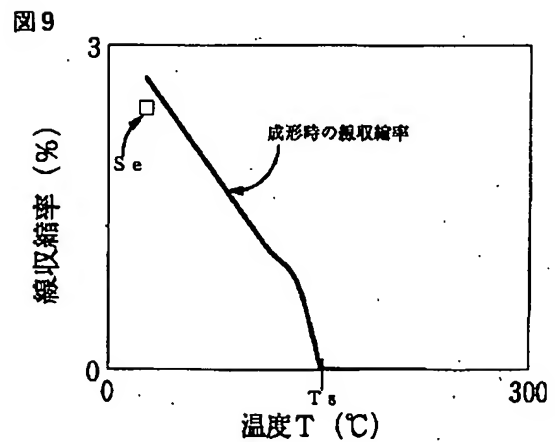
【図3】



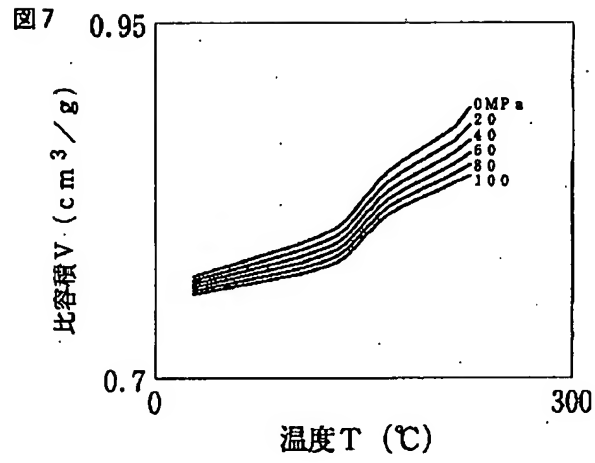
【図6】



【図9】



【図7】



【図8】

